第 38 卷第 2 期
2018 年 1 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.38,No.2
Jan.,2018

DOI: 10.5846/stxb201701050048
王美娜,卢训令,崔洋,王梦茹,丁圣彦.不同人为干扰下林地类型对传粉昆虫的影响——以河南省巩义市为例.生态学报,2018,38(2):464-474.
Wang M N, Lu X L, Cui Y, Wang M R, Ding S Y. Effects of woodland types with different levels of human disturbance on pollinators: A case study in Gongyi, Henan, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(2):464-474.

不同人为干扰下林地类型对传粉昆虫的影响
——以河南省巩义市为例

王美娜[1,2],卢训令[1,2],崔 洋[1,2],王梦茹[1,2],丁圣彦[1,2,*]
1 教育部黄河中下游数字地理技术重点实验室,开封 475004
2 河南大学环境与规划学院,开封 475004

摘要:不同类型的林地为人类提供着十分重要的生态系统服务,维持着社会的稳定发展,其对传粉昆虫的保护也有着积极的效应。在巩义市选取 24 个采样点,3 种林地类型(栓皮栎林、泡桐林、杨树林)进行取样,结合当地的植物群落特征,分析不同人为干扰梯度下生态系统对传粉昆虫的影响;共捕获传粉昆虫 8386 头,分属 6 个目,83 个科,分属于膜翅目类、双翅目类、鞘翅目类、鳞翅目类、半翅目类与缨翅目类共六个传粉功能群。选取膜翅目、双翅目、鞘翅目和鳞翅目 4 类主要传粉昆虫作为研究对象进行分析。结果表明:(1)栓皮栎林中传粉昆虫的个体数量和优势度要大于泡桐林和杨树林,但泡桐林中传粉昆虫多样性大于栓皮栎林和杨树林;就传粉昆虫的多度而言,栓皮栎林与泡桐林($P<0.05$)和杨树林($P<0.01$)间有显著差异,而泡桐林和杨树林间的差异不明显;(2)非度量多维度法(NMDS)和非参数二因子相似性分析(ANOSIM)显示,泡桐林中传粉昆虫群落组成分别与栓皮栎林和杨树林之间存在显著差异($P<0.05$),而栓皮栎林与杨树林间无显著差异;(3)在所研究的 7 个环境因子中,根据冗余分析(RDA)显示,海拔高度和乔木盖度 2 个环境因素对传粉昆虫群落组成有显著影响($P<0.05$)。不同林地类型中传粉昆虫群落的组成差异明显,生境和植被的多样为物种带来更多的食源及栖息环境,因此,加强不同林地类型的保护、保障传粉昆虫生境的多样性对本区传粉昆虫的发展和生态系统服务的提高具有重要意义。

关键词:传粉昆虫多样性;生态系统服务;人为干扰;不同林地类型;巩义市

Effects of woodland types with different levels of human disturbance on pollinators: A case study in Gongyi, Henan, China

WANG Meina[1,2], LU Xunling[1,2], CUI Yang[1,2], WANG Mengru[1,2], DING Shengyan[1,2,*]
1 *Key Laboratory of Geospatial Technology For the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Kaifeng* 475004, *China*
2 *College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng* 475004, *China*

Abstract: Different types of woodlands, which provide important ecosystem services for human beings, maintain the stable development of society and have positive effects on the protection of pollinators. In recent years, the diversity of pollinators has been greatly influenced by human activities, changes in climatic variables, invasion of alien species, and changes in land use. To study the status of species diversity of pollinators and plant communities in different types of woodlands (*Quercus variabilis*, *Paulownia fortunei*, and *Populus* spp.), 24 sampling points were selected in field margin systems in the hilly regions of western Henan. Yellow, white, and blue traps were deployed, and a mixture of approximately 200 mL of water and 1 drop of detergent was poured into the traps to capture pollinators. These data were combined with the characteristics of local plant communities to analyze the effects of different woodland type on the diversity of pollinators. We captured 8386 individuals of six orders and 83 families, mainly belonging to Hymenoptera, Diptera, Coleoptera,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41371195,41071118)
收稿日期:2017-01-05; **网络出版日期**:2017-09-14
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: syding@ henu.edu.cn

Lepidoptera, Hemiptera, and Thysanoptera, with a total of six pollinator functional groups. Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, and Lepidoptera were selected as the four kinds of main pollinators to be analyzed. Results showed that the individual number and dominance of pollinators in *Populus* spp. were greater than those in *P. fortunei* and *Q. variabilis*, but the diversity of pollinators in *P. fortunei* was greater than that in *Q. variabilis* and *Populus* spp. In terms of individual abundance of pollinators, *Q. variabilis* differed significantly from *P. fortunei* ($P < 0.05$) and *Populus* spp. ($P < 0.01$), whereas *P. fortunei* did not differ from *Populus* spp. Non-metric multi-dimensional scaling (NMDS) and Analysis of similarities (ANOSIM) revealed that the composition of pollinator communities in *Q. variabilis* differed significantly from *P. fortunei* and *Populus* spp. ($P < 0.05$), whereas *Q. variabilis* did not vary substantially from *Populus* spp. Among the seven environmental variables studied, according to Redundancy analysis (RDA), coverage of trees and altitude were negatively related to the diversity of pollinators ($P < 0.05$). Altitude was significantly correlated with the first axis ($r = 0.3242$, $P < 0.05$), indicating that the first axis was characterized by an elevation gradient, with the first axis increasing from left to right, and habitats changed from lower *Populus* spp. to higher *Q. variabilis*, and pollinator insects were mainly distributed in the middle to high-altitude areas. Coverage of trees ($r = -0.5061$, $P < 0.05$) was significantly correlated with the second axis, indicating that the second axis was characterized by coverage of trees increasing from top to bottom, and the transition was from the lower cover of *Q. variabilis* to that of *Populus* spp. The pollinators changed from Hymenoptera in lower tree coverage to Coleoptera in the higher tree coverage. The interference of human activities was not completely negative to pollinators, and pollinators had a positive response under moderate disturbance. Moreover, the diversity of pollinators was closely related to the surrounding environmental variables, including seasonal variation, vegetation characteristics, temperature, humidity, and human activities. The composition of pollinator communities in different woodland types varied, and the diversity of habitats and vegetation supported more food sources and habitats for the species; therefore, for the development of pollinator communities and improvement of ecosystem services in local areas, it is important to increase the protection of different types of woodland.

Key Words: pollinator diversity; ecosystem services; human disturbance; different woodland types; Gongyi City

生物多样性是生物与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和,是生命系统的基本特征,生物多样性的维持对人类社会的存在和稳定发展极其重要[1]。在生物多样性中,传粉昆虫是数量最丰富的类群之一,其独特的传粉功能保证了植物异花授粉和作物生产,在保障粮食安全、提高作物产量等方面发挥着不可或缺的作用。近些年来,人类活动的干扰极大地影响着传粉昆虫的多样性,气候环境的改变、外来物种的入侵以及土地利用变化等都对传粉昆虫的多样性有着重要的影响[2]。农业集约化破坏了传粉昆虫的蜜源和栖息地,被认为是传粉昆虫下降的主要原因之一[3]。

已有研究表明,中等人为程度的干扰景观能够维持更高的传粉昆虫多样性,保护农业景观周围的自然和半自然(如林地)生境是提高传粉率的关键[4];良好的自然资源管理策略可提高授粉生态系统服务量,从而增加作物的产量和质量[5-7]。Winfree 等研究发现,在膜翅目的 130 种蜂类样本中仅有 18 种蜂会与自然林的覆盖率呈正相关,其余蜂类在伴有自然生境的农田生态系统中的丰富度要高于人为干扰较少的森林生态系统[8]。农田周围的野生植物和树林能够为传粉昆虫提供觅食、栖息和稳定的越冬场所,一定程度的人为干扰对昆虫传粉是有益的[9]。Potts 等通过研究膜翅目与火烧后残存斑块的关系发现,火烧后的残存斑块对蜜蜂有着积极的正效应[10]。此外,传粉过程与环境因子密切联系,传粉者的行为与植物群落结构和环境因子之间的相互作用极为复杂。Totland 等研究表明,传粉昆虫的多样性与植被的高度呈显著正相关[11]。国内外学者把研究焦点集中在不同生态系统对传粉昆虫多样性影响方面,研究包括农田生态系统、森林生态系统、农林复合生态系统以及湿地生态系统等不同生态系统的传粉昆虫功能群,发现不同生态系统对传粉昆虫多样性的影响有着明显的差异[12-15]。但是,有关不同程度干扰下生态系统中传粉昆虫多样性的研究较少。因此,本研究通过调查豫西低山丘陵区不同地貌中植物群落及传粉昆虫多样性现状,分析不同人为干扰程度的林地类型对传粉昆虫多样性的影响,将对维持可持续发展的农业体系以及生物多样性的保护提供重要的指导作用。

1 研究区域概况

巩义市位于河南省西部,34°31′—34°52′ N 和 112°49′—113°17′ E 之间,东西长 43 km,南北宽 39.5 km,总面积约为 1042 km^2;属于暖温带大陆性季风气候,光热资源丰富;多年平均降水量为 583 mm,年内降水多集中于 7、8 和 9 月(占全年 70%)。区内地势南高北低,东南部的低山地区是以栓皮栎为主的次生林,人为干扰较少,土壤层较薄,但有着较厚的凋落物层;中部的丘陵地区主要以泡桐林为主,易受到人为活动的干扰,林下凋落物层较薄;西北部的河川地区以人工种植的杨树林为主,受到的人为活动干扰最为强烈,地表的凋落物层更薄(图 1)。

低山区的栓皮栎(*Quercus variabilis*)林中,植被覆盖率较高,主要以菊科(Compositae)的蜜源植物为主,禾本科(Gramineae)、豆科(Leguminosae)、蔷薇科(Rosaceae)等蜜源植物次之,部分地方还分布着荆条(*Vitex negundo var. heterophylla*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)和连翘(*Forsythia suspensa*)等占优势的次生灌草丛。丘陵区农作物取代了部分自然植被,除种植的农作物外,田间非农植物以禾本科、豆科、菊科为主,山坡上分布着零散的侧柏(*Platycladus orientalis*)、柿树(*Diospyros kaki*)、枣树(*Ziziphus jujuba*)、榆树(*Ulmus pumila*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)等树木,泡桐(*Paulownia fortune*)林与作物群落相间分布。河川区杨树(*Populus* spp.)林大面积成片分布,农作物以玉米、小麦、水稻等群落为主,草本植物多分属于禾本科、莎草科(Cyperaceae)、菊科等,并零星分布着榆树、构树(*Broussonetia papyrifera*)和花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)等为主的灌丛[16]。

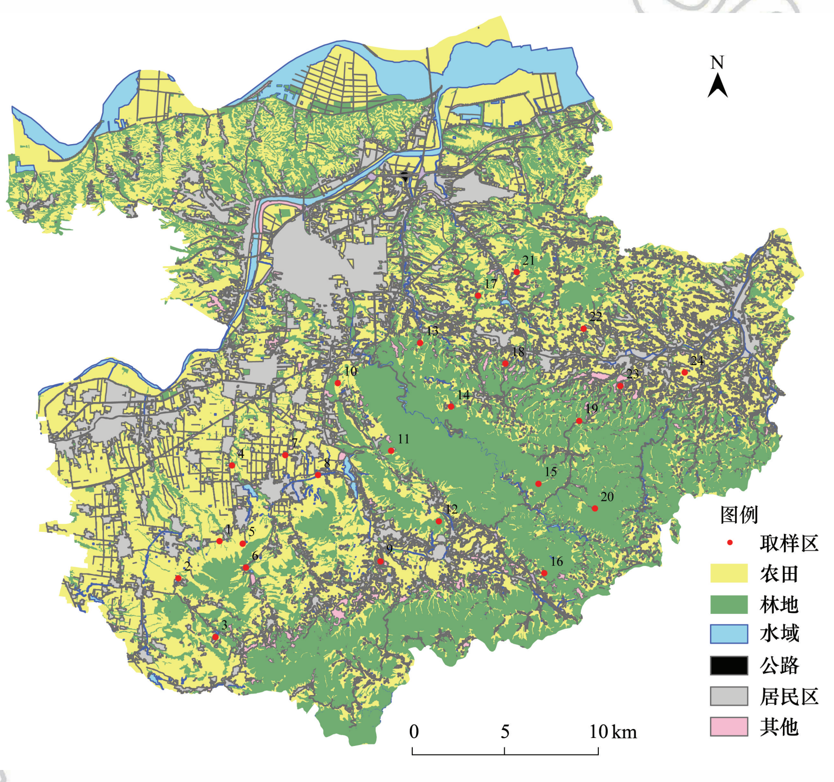


图 1 研究区景观概况和采样点示意图

Fig.1 Landscape classification map and the schematic diagram of sampling point

2 研究方法

2.1 样地设置与取样

根据研究区的地貌类型特点,选取不同地貌类型的林地作为研究对象,共设置 24 个样地采样,其中栓皮栎林、泡桐林和杨树林各 8 个,采样时间为 2016 年 9 月 20 日—2016 年 10 月 1 日。

虫媒花植物依靠传粉昆虫授粉,其鲜艳的颜色和独特的气味是吸引传粉昆虫的关键。因此,本实验根据其颜色特性,利用彩色诱捕盘法(Colors pan traps)获取传粉昆虫,具体方法如下:将黄、白、蓝三色荧光漆分别涂于圆形塑料碗(直径 11.4 cm,高度 5.7 cm)中,在林地生境内诱捕陷阱间距 5 m 呈等边三角型布设,重复三组实验。每个诱捕陷阱距地面高度约 1.2 m,碗中放入约 200 mL 清水与 1 滴洗涤剂;将诱捕陷阱在野外放置 48 h 后收回,把所收集的样品放入装有 75%酒精的离心管内保存,利用双目体视显微镜(Nikon smz1000)及相关文献资料对捕捉到的传粉昆虫进行分类鉴定[17-19],一般鉴定到物种的科级水平。

2.2　数据分析

利用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同林地类型间传粉昆虫差异;传粉昆虫群落相似性采用非度量多维标度(Non-metric Multi-Dimensional Scaling, NMDS)的排序方法和非参数的二因子相似性分析(Analysis of Similarities, ANOSIM);传粉昆虫多样性比较采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数和 Dominance 优势度指数;不同环境因子对传粉昆虫的贡献程度采用冗余分析(RDA)进行研究。相关分析和方差分析在 SPSS 21.0 软件上进行,传粉昆虫多度分布图利用 Past 3.10 软件,其余均在 R 3.1.3 软件上完成。

2.2.1　群落排序分析

将传粉昆虫个体数量建立不同林地类型间传粉昆虫群落的相似性矩阵,采用非度量多维标度的排序方法和非参数的二因子相似性法分析,比较不同林地类型间传粉昆虫群落结构差异。NMDS 结果的好坏用应力函数值(stress)来衡量,当 $0.1<stress<0.2$ 时,NMDS 的二维点图有一定的解析意义;当 $0.05<stress<0.1$ 时,认为是一个比较好的排序;当 $stress<0.05$ 时,具有很好的代表性。

冗余分析(Redundancy Analysis, RDA) 是约束性排序分析方法,运用冗余分析分离所选环境变量对传粉昆虫分布的解释能力,分析各环境变量与传粉昆虫主要类群的相关性。

2.2.2　物种多样性分析

本文选取 4 个物种多样性指数进行分析,计算公式如下:

(1)Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

(2)Pielou 均匀度指数(E)

$$E = H'/H'_{max}$$

(3)Margalef 丰富度指数(R)

$$R = (S - 1)\ln N$$

(4)Dominance 优势度指数(D)

$$D = \sum_i \left(\frac{N_i}{N}\right)^2$$

式中,S 为物种数,N 为个体数,P_i 为第 i 个物种占总数的百分比,H'_{max} 为 H' 的最大物种多样性理论数值。N 为类群个体总数,N_i 为第 i 个物种数量。均匀度指数(E)及优势度指数(D)反映物种类群在群落中的稳定性。

3　研究结果

3.1　传粉昆虫组成特征

共捕获传粉昆虫 8386 头,分属 6 个目,83 个科,分属于膜翅目类、双翅目类、鞘翅目类、鳞翅目类、半翅目类与缨翅目类共六种传粉功能群,其中膜翅目类(3480 头)、双翅目类(2992 头)、鞘翅目类(223 头)、鳞翅目类(804 头)为主要传粉昆虫,分别占总数的 41.50%、35.70%、2.70%、9.59%,其余传粉功能群占总数的10.51%(表 1)。优势类群仅有胡蜂科(Vespidae);常见类群为食蚜蝇科(Syrphidae)、丽蝇科(Calliphoridae)、果蝇科(Drosophilidae)、花蝇科(Anthomyiidae)、粪蝇科(Scathophagidae)、瘿蜂科(Cynipidae)、小蜂科

(Chalalcididae)、花萤科(Cantharidae)、夜蛾科(Noctuidae)、螟蛾科(Pyralidae);其余为稀有类群,如粉蝶科(Pieridae)、蛛蜂科(Pompilidae)等。

在这 3 种林地类型中,栓皮栎林中捕获的传粉昆虫数量最多为 3390 头,占总捕获量的 40.4%;其次是泡桐林 2852 头,占总捕获量的 34%;杨树林的数量最少为 2144 头,占总捕获量的 25.6%。不同林地类型中,传粉昆虫组成特征有所不同,如花蝇科在栓皮栎林中是优势类群,而在泡桐林和杨树林中为常见类群;胡蜂科在栓皮栎林和杨树林中是优势类群,而在泡桐林中为常见类群。

表 1 不同林地类型中主要传粉昆虫类群特征

Table 1 The characteristics of the main pollinator groups between different types of woodland

目名 Order	科名 Family	栓皮栎林 *Quercus variabilis*		泡桐林 *Paulownia fortune*		杨树林 *Populus* spp.		相对多度% Relative abundance	优势度 Dominance
		个体数量 Individuals	优势度 Dominance	个体数量 Individuals	优势度 Dominance	个体数量 Individuals	优势度 Dominance		
双翅目 Diptera	食蚜蝇科 Syrphidae	142	++	131	++	73	++	4.13	++
	丽蝇科 Calliphoridae	144	++	114	++	118	++	4.48	++
	果蝇科 Drosophilidae	174	++	109	++	112	++	4.71	++
	花蝇科 Anthomyiidae	550	+++	52	++	106	++	8.44	++
	粪蝇科 Scathophagidae	117	++	132	++	251	+++	5.96	++
膜翅目 Hymenoptera	瘿蜂科 CyniPidae	294	++	185	++	98	++	6.88	++
	胡蜂科 Vespidae	452	+++	242	++	347	+++	12.41	+++
	小蜂科 Chalalcididae	246	++	190	++	208	++	7.68	++
鞘翅目 Coleoptera	花萤科 Cantharidae	40	++	45	++	29	++	1.36	++
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	110	++	85	++	47	++	2.89	++
	螟蛾科 Pyralidae	190	++	75	++	84	++	4.16	++

+++:优势类群 Dominant group(>10%);++:常见类群 Common group(1%—10%);+:稀有类群 Rare group(<1%)

3.2 主要传粉昆虫类群在不同林地类型中多样性比较分析

本文选取 Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Dominance 生态优势度指数研究区内不同林地类型中的传粉昆虫主要类群(双翅目、鞘翅目、膜翅目、鳞翅目)多样性(表 2)。3 种林地类型间的差异虽然均未达到显著水平,但从四个指数值直观来看,就传粉昆虫多样性指数、均匀度指数和丰富度指数而言,泡桐林均明显大于杨树林和栓皮栎林,表明泡桐林中传粉昆虫种类多且各物种之间个体分配相对均匀;从传粉昆虫优势度指数来看,泡桐林明显小于杨树林和栓皮栎林,且栓皮栎林是最高的,表明栓皮栎林中群落内物种数量分布不均匀,有突出的优势种。

就传粉昆虫主要类群在不同林地类型中的多度而言,栓皮栎林与泡桐林($P<0.05$)和杨树林($P<0.01$)间有显著差异,而泡桐林和杨树林间的差异不明显。4 个类群在栓皮栎林中的个体数量均高于杨树林和泡桐林,膜翅目、鞘翅目和双翅目在杨树林中的个体数量最少,且显著低于泡桐林中的个体数量,鳞翅目在杨树林中的个体数量虽多于泡桐林,但两者相差的个体数量较少(图 2)。

表 2　主要传粉昆虫类群在不同林地类型中多样性差异(±标准差)

Table 2　Differences of the main pollinator groups diversity between different types of woodland (±SE)

林地类型 Woodland types	多样性指数 Diversity index	均匀性指数 Evenness index	丰富度指数 Margalef index	优势度指数 Dominance index
杨树林 *Populus* spp.	3.071±0.049a	0.342±0.017a	8.120±0.000a	0.073±0.026a
泡桐林 *Paulownia fortune*	3.320±0.039a	0.432±0.017a	8.127±0.000a	0.049±0.002a
栓皮栎林 *Quercus variabilis*	3.005±0.041a	0.306±0.012a	8.048±0.000a	0.079±0.004a

同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

3.3　不同林地类型中传粉昆虫群落相似性分析

不同林地类型间传粉昆虫群落 NMDS[20] 应力函数值为 0.18,小于 0.2,其结果可用二维点图表示,不同传粉昆虫群落在各林地类型间呈相对聚集分布(图 3)。所采集的 24 个样点数据在不同林地类型间分为 3 组,分别为泡桐林、杨树林及栓皮栎林,但某些样点的物种组成与其他样点相比变化较大,总体上看,泡桐林与杨树林和栓皮栎林样点之间在排序图上相对分离。ANOSIM[21] 分析中的 R 值是基于 3 组林地类型的组内及组间变异平均排序等级,结果表明,泡桐林和杨树林的组间值均高于 2 组林地类型的组内值;泡桐林和栓皮栎林的组间值也均高于 2 组林地类型的组内值;栓皮栎林和杨树林的组间值低于杨树林的组内值(图 4)。说明泡桐林中的传粉昆虫群落组成与杨树林和栓皮栎林之间存在显著差异($P<0.05$),而杨树林和栓皮栎林之间差异则不显著。

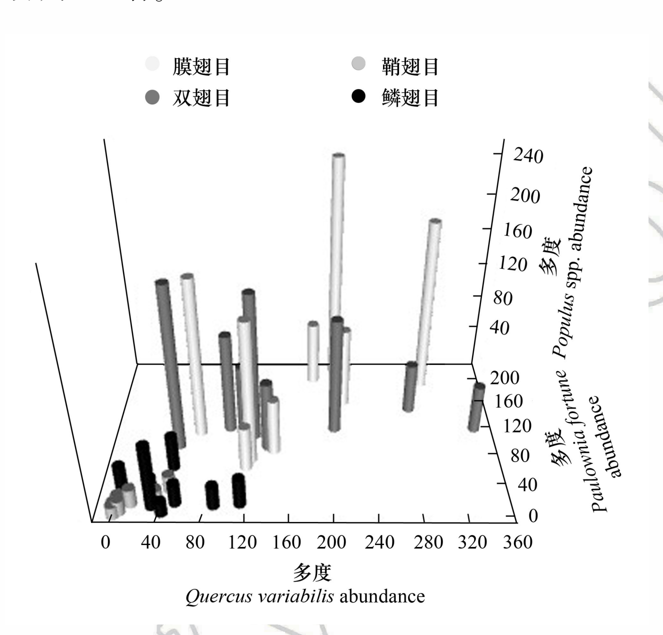


图 2　主要传粉昆虫类群在每一采样点不同林地类型中多度差异

Fig.2　The differences of the main pollinator groups of abundance in different types of woodland in each sampling point

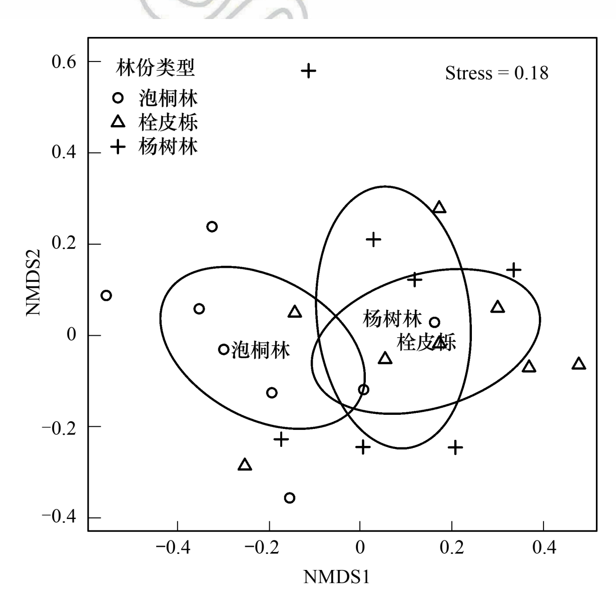


图 3　不同林地类型中主要传粉昆虫类群非度量多维度法(NMDS)分析

Fig.3　Non-metric multi-dimensional scaling (NMDS) analysis of the main pollinator groups between different types of woodland

3.4　林地中传粉昆虫群落与环境相关性分析

利用 DCA 对物种变量-传粉昆虫个体数量去趋势对应分析,结果表明,第一排序轴长为 0.551 小于 3,因此,本研究适用于基于线性模型的冗余分析(RDA)。7 个环境因子解释 86.5%的物种变化信息和 100%物种-环境关系信息。利用向前引入法(Forward selection)对环境因子进行逐步筛选,Monte Carlo 置换检验[22] 结果表明,7 个环境因子中,仅有海拔高度($F=3.42$,$P=0.030$)和乔木层盖度($F=3.545$,$P=0.022$)对传粉昆虫群落组成的影响达到显著水平($P<0.05$),而其他环境因子的影响不显著($P>0.05$),说明海拔高度和乔木层盖度这 2 个环境因子对粉昆虫群落结构的影响尤为重要。

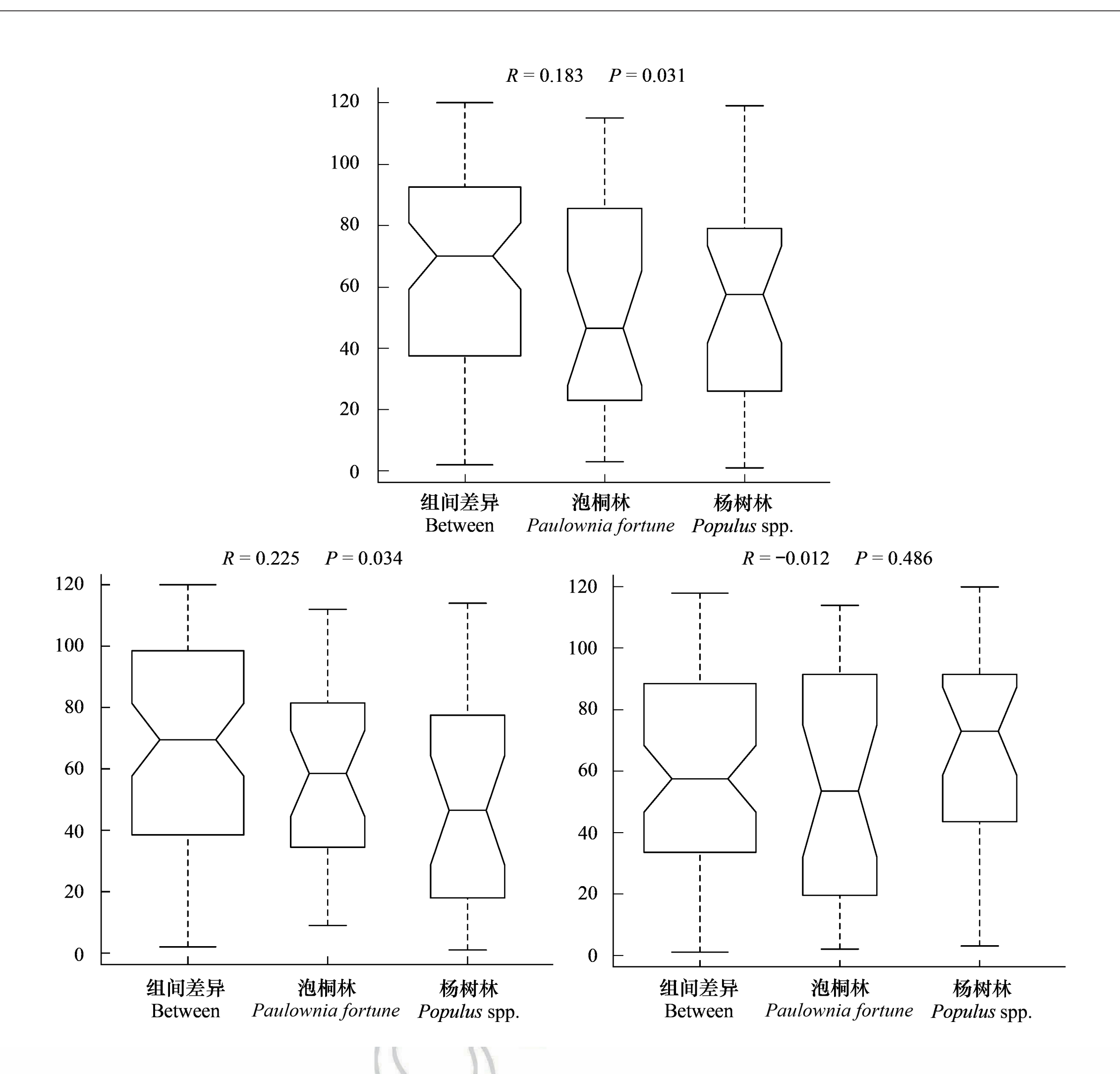


图 4 不同林地类型中主要传粉昆虫类群相似度分析图

Fig.4 Analysis of similarities f the main pollinator groups between different types of woodland

在 RDA 排序图中进一步分析传粉昆虫群落与环境因子之间的关系(图 5)。与第一轴呈显著相关的是海拔高度(r=0.3242,P<0.05),表明第一轴表征的是海拔梯度,第一轴从左到右海拔呈增加的趋势,生境由地势较低的杨树林过渡到地势较高的栓皮栎林,传粉昆虫主要分布在中高海拔区;与第二轴呈显著相关的是乔木盖度(r=−0.5061,P<0.05),表明第二轴表征的是乔木盖度,第二轴从上到下乔木盖度呈增加的趋势,生境由乔木盖度较低的栓皮栎林过渡到乔木盖度较高的杨树林,传粉昆虫类群由乔木盖度较低区的膜翅目转变为乔木盖度较高区的鞘翅目(表 3)。物种和环境因子的相关性可以通过物种线与环境因子线的余弦值得到,结果表明,膜翅目、双翅目、鳞翅目与乔木盖度呈负相关,鞘翅目与海拔高度呈负相关。

表 3 样地林地类型概况

Table 3 Types of woodland for sampling

林地类型 Woodland types	地理位置 Location	乔木层平均高度/m Tree layer mean height	乔木层平均盖度/% Tree layer mean cover	灌木层平均高度/m Shrub layer mean height	灌木层平均盖度/% Shrub layer mean cover	草本层平均高度/cm Herbaceous layer height	草本层平均盖度/% Herbaceous layer height	海拔 Altitude	邻近斑块 Adjacent plaque
栓皮栎林 *Quercus variabilis*	低山地区	6.19	30.53	1.73	39.06	63.85	69.89	595.04	栓皮栎林
泡桐林 *Paulownia fortune*	丘陵地区	8.75	46.70	1.16	19.69	66.56	71.66	366.12	农田
杨树林 *Populus* spp.	河川地区	10.41	56.25	1.53	35.83	62.81	64.45	265.54	农田

4 讨论

4.1 不同林地类型对传粉昆虫多样性影响

栓皮栎林位于低山地区,区内大多为自然林,人为干扰较小;泡桐林位于丘陵地区,有大部分的自然林和少部分的人工林,与邻近的农田斑块相间分布,有着一定程度的人为干扰;杨树林位于河川、平原地区,区内大多为人工林,并分布大量农田斑块,人为干扰强烈。Chesson 等研究发现干扰景观要比少受干扰的景观总物种多样性和丰富度更高,由于在干扰景观中会产生更多的演替机会,不同的蜂类会占据不同的演替阶段,产生更多的新物种[23]。Connell 在 1978 年提出的"中度干扰"假说认为,中等程度的干扰频率能维持较高的物种多样性[24]。如果干扰频率过低,少数竞争力强的物种将在群落中取得完全优势;如果干扰频率过高,更有利于生长速度快、侵占能力强的物种生存;只有当群落受到中等频率干扰时,物种生存的机会才最多,群落多样性最高。此外,已有的研究表明,农田生境中种植的作物及周围的半自然生境比林地能够维持更高的物种多样性[25-27],由于本次取样是在秋季,农田中刚收割的玉米使田中有大面积的未开垦土地。Mazón 等研究认为开阔的区域利于传粉昆虫从一个生境迁移到另一个生境中,方便其取食[28],且小块的撂荒地为飞行距离短的昆虫提供了栖息场所[29],大多数泛化种可能从农田中迁移到林地中,以获得更多的取食、栖息机会。因此,传粉昆虫的多样性表现为泡桐林>杨树林>栓皮栎林,而由于栓皮栎林中较低的人为干扰使得竞争力强的少数物种在该区有着绝对优势。因此,栓皮栎林中的物种优势度要高于泡桐林和杨树林。

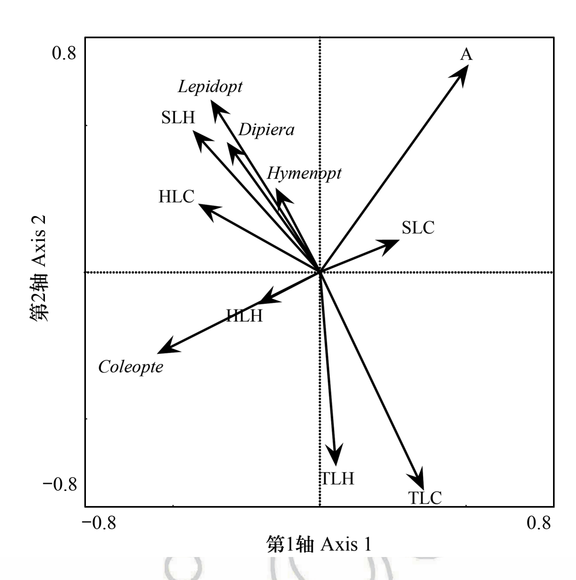


图 5　传粉昆虫-环境因子 RDA 排序图

Fig. 5　Redundancy analysis ordination diagram of pollinators and environmental factors

Coleopte: 鞘翅目 Coleoptera; Lepidopt: 鳞翅目 Lepidoptera; Diptera: 双翅目 Diptera; Hymenopt: 膜翅目 Hymenoptera; TLH: 乔木层高度 Tree layer height; TLC: 乔木层盖度 Tree layer cover; SLH: 灌木层高度 Shrub layer height; SLC: 灌木层盖度 Shrub layer cover; HLH: 草本层高度 Herbaceous layer height; HLC: 草本层盖度 Herbaceous layer cover; A: 海拔高度 Altitude

栓皮栎林人为干扰较少,种类组成丰富,结构复杂,群落包括乔木层、灌木层、草本层和地表层,复杂的群落环境为传粉昆虫提供了更多的食物来源、栖息地和躲避天敌的场所,因此传粉昆虫的个体数量在该区最多[30]。该林地类型中花蝇科、胡蜂科等优势种个体数量占绝对优势,这些优势种群在食物、配偶、栖息地上有着优先权,从而保证了其获得交配和产生后代的机会,更利于该优势种群的繁殖和延续。在该林地类型中均匀度指数最低,表明物种数量分布不均匀,某些优势种(科)数量极多,而有些数量很少,如膜翅目中的胡蜂科为 452 头,蛛蜂科仅为 12 头。这正解释了,栓皮栎林中的物种多度虽最高,但物种多样性最低的原因。

4.2 不同林地类型中传粉昆虫群落组成差异

研究发现,不同林地类型间传粉昆虫多样性差异虽不显著,但传粉昆虫群落组成存在着一定差异。泡桐林中的传粉昆虫群落组成与杨树林和栓皮栎林之间存在显著差异($P<0.05$),而杨树林和栓皮栎林之间的差异不显著。不同林地类型中的植物群落特征、温度、湿度及海拔等环境因子是影响传粉昆虫分布的关键因素。以往研究表明海拔差异是影响传粉昆虫群落组成的重要环境变量之一[31]。不同海拔高度的植物资源分配不同,从而影响着传粉昆虫的分布。Ye 等研究发现随着海拔的升高,*Trollius ranunculoides*(毛茛状金莲花)的资源分配模式发生改变,从而会降低食源对传粉昆虫的传粉限制[32]。本研究采样在秋季 9 月,通过实地调查发现,群落结构中的蜜粉源植物有着极大差异。次生灌木层蜜粉源植物较少,主要为牡荆(*Vitex negundo*)(花期 7—11 月);草本层主要蜜粉源植物为狗尾草(*Setaria viridis*)(花期 5—10 月)、牛皮消(*Cynanchum auriculatum*)(花期 6—9 月)、鬼针草(*Bidens pilosa*)(花期 8—10 月)、荩草(*Arthraxon hispidus*)(花期 9—

10 月)、葎草(*Humulus scandens*)(花期 8—9 月)、茜草(*Rubia cordifolia*)(花期 7—9 月)及狗牙根(*Cynodon dactylon*)(花期 5—10 月)等。

传粉昆虫群落组成产生差异的主要原因在于,泡桐林存在于丘陵区,属于该区的过渡地带,通过实地调查发现,该区生境多样、自然林比例高、农田边界中有许多半自然生境、植物群落结构组成复杂。有许多特有的蜜粉源植物,如紫菀(*Aster tataricus*)(花期 7—9 月)、虎尾草(*Chloris virgata*)(花期 6—10 月)、香丝草(*Conyza bonariensis*)(花期 5—10 月)及醴肠(*Eclipta prostrata*)(花期 7—10 月)等,从而分布一些特有种如瓢虫科、土蜂科。这使得泡桐林中传粉昆虫的群落组成异于其他两种林地类型。

4.3 林地中环境因子对传粉昆虫的影响

不同传粉类群对环境因素的响应和适应存在差异,这反映其生活习性、繁殖特征和生物学特性等方面的综合性差异。传粉昆虫群落与植物群落特征显著相关,生境内部植被地上部分可直接影响传粉昆虫群落,植被的高度、盖度、聚集度等影响着传粉昆虫的取食、栖息及繁衍[33-34]。通过 RDA 分析发现,海拔和乔木盖度对传粉昆虫影响较为显著($P<0.05$),且鳞翅目受到这 2 个环境因子影响最大。

双翅目、膜翅目和鳞翅目主要分布在中高海拔区,鞘翅目分布于低海拔区。昆虫依靠膜质翅鼓动空气飞行。由于昆虫翅膀肌肉及骨骼的原因,导致昆虫前后翅飞行时可能相互抵消另一对翅的作用,所以昆虫进化出了翅勾等结构来协调两对翅[35]。双翅目昆虫直接退化一对翅作为平衡棒,来消除这种不协调的因素,在飞行技术上一般被认为是较先进的昆虫[36],Taylor 等研究表明,双翅目的活动范围一般在海拔 300—900 m 之间[37]。膜翅目体积较小需要借助稍高地段的气流飞行[38],鳞翅目有很强的群集性和远距离迁飞能力,这是其在中高海拔处栖息的重要原因。鞘翅目前翅角质化且坚硬,无翅脉,称为"鞘翅";后翅膜质,静止时折叠于前翅之下,部分种类只有一对前翅或无翅,飞行能力较弱,因此适应低空飞行,在低海拔处栖息[39]。体积小的传粉昆虫大多飞行距离短,需要借助冠层上方快速流动的空气完成远距离的飞行。一旦发现蜜源植物,其飞入树冠中,较低的风速使他们迎风飞到蜜源植物旁进行取食[38],乔木层的盖度就决定了这类传粉昆虫飞行的距离。此外昆虫多数具有趋光性,鳞翅目的趋光性最强,乔木层盖度对其影响也最为显著[40];膜翅目、双翅目部分种类均具有趋光性[41-42],乔木层盖度对其影响较鳞翅目弱;鞘翅目虽也具有趋光性,但由于其不善于飞行,多在地表活动,白天一般隐藏于乔木下、落叶层或洞穴中[43],因而,乔木层盖度与该类群无显著相关性。

5 结论

人类活动的干扰对传粉昆虫并不是完全的负效应,在中等程度的干扰下传粉昆虫会产生积极的响应;并且,传粉昆虫多样性与生境变量有着紧密的联系,季节变化、植被特征、温度、湿度及人类活动干扰等都影响着传粉昆虫多样性[44-46],在研究过程中即使传粉昆虫多个类群对某一环境因子的响应有着相似趋势,也可能是受到了其他物种或多种环境变量的影响所造成,因此,要注重考虑物种与各环境变量的关系。该地区不同林地类型的存在对生物多样性的整体保护十分重要,生境和植被的多样为物种带来更多的食源等生存保障,因此,在本研究区内加强不同林地类型的保护对维持较高的传粉昆虫多样性具有重要作用,有助于保障该区的生态系统服务功能。

参考文献(References):

[1] 蒋志国, 马克平, 韩兴国. 保护生物学. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1997.
[2] 戴漂漂, 张旭珠, 刘云慧. 传粉动物多样性的保护与农业景观传粉服务的提升. 生物多样性, 2015, 23(3): 408-418.
[3] Marini L, Quaranta M, Fontana P, Biesmeijer J C, Bommarco R. Landscape context and elevation affect pollinator communities in intensive apple orchards. Basic and Applied Ecology, 2012, 13(8): 681-689.
[4] Fahrig L, Girard J, Duro D, Pasher J, Smith A, Javorek S, King D, Lindsay K F, Mitchell S, Tischendorf L. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 200: 219-234.
[5] Karanja R H N, Njoroge G N, Gikungu M W, Newton L E. Bee interactions with wild flora around organic and conventional coffee farms in Kiambu

district, central Kenya. Journal of Pollination Ecology, 2010, 2(2): 7-12.

[6] Holzschuh A, Dudenhöffer J H, Tscharntke T. Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. Biological Conservation, 2012, 153(5): 101-107.

[7] Blitzer E J, Dormann C F, Holzschuh A, Klein A M, Rand T A, Tscharntke T. Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 146(1): 34-43.

[8] Winfree R, Griswold T, Kremen C. Effect of human disturbance on bee communities in a forested ecosystem. Conservation Biology, 2007, 21(1): 213-223.

[9] Klein A M, Brittain C, Hendrix S D, Thorp R, Williams N, Kremen C. Wild pollination services to California almond rely on semi-natural habitat. Journal of Applied Ecology, 2012, 49(3):723-732.

[10] Potts S G, Vulliamy B, Dafni A, Ne'eman G, O'Toole C, Roberts S, Willmer P. Response of plant-pollinator communities to fire: changes in diversity, abundance and floral reward structure. Oikos, 2003, 101(1): 103-112.

[11] Totland Ø. Environment-dependent pollen limitation and selection on floral traits in an alpine species. Ecology, 2001, 82(8): 2233-2244.

[12] Gollan J R, Ashcroft M B, Batley M. Comparison of yellow and white pan traps in surveys of bee fauna in New South Wales, Australia (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila). Austral Entomology, 2011, 50(2): 174-178.

[13] Saunders M E, Luck G W. Pan trap catches of pollinator insects vary with habitat. Austral Entomology, 2013, 52(2): 106-113.

[14] Heneberg P, Bogusch P. To enrich or not to enrich? Are there any benefits of using multiple colors of pan traps when sampling aculeate Hymenoptera? Journal of Insect Conservation, 2014, 18(6): 1123-1136.

[15] Moreira E F, Santos R L D S, Penna U L, Angel-Coca C, Oliveira F F D, Viana B F. Are pan traps colors complementary to sample community of potential pollinator insects? Journal of Insect Conservation, 2016, 20(4): 583-596.

[16] 董翠芳. 景观异质性对植物多样性影响的多尺度分析. 开封: 河南大学, 2014.

[17] 蔡邦华. 昆虫分类学. 北京: 科学出版社, 1985.

[18] 乔治・C. 麦加文. 昆虫. 王琛柱, 译. 北京: 中国友谊出版公司, 2007.

[19] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类(上下). 南京: 南京师范大学出版社, 1999.

[20] Alotaibi K. Non-metric multi-dimensional scaling for distance-based privacy-preserving data mining. Norwich, UK: University of East Anglia, 2014.

[21] Liao B, Wang T M. Analysis of similarity/dissimilarity of DNA sequences based on 3-D graphical representation. Chemical Physics Letters, 2004, 388(1/3): 195-200.

[22] Kovács B. A Monte Carlo permutation test for co-occurrence data. Quality & Quantity, 2014, 48(2): 955-960.

[23] Chesson P, Huntly N. The roles of harsh and fluctuating conditions in the dynamics of ecological communities. The American Naturalist, 1997, 150(5): 519-553.

[24] Connell J H. Intermediate-disturbance hypothesis. Science, 1979, 204(4399): 1345-1345.

[25] Cane J H. Pollinating bees (Hymenoptera: Apiformes) of U.S. alfalfa compared for rates of pod and seed set. Journal of Economic Entomology, 2002, 95(1): 22-27.

[26] Steffan-Dewenter I, Münzenberg U, Bürger C, Thies C, Tscharntke T. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. Ecology, 2002, 83(5): 1421-1432.

[27] Lentini P E, Martin T G, Gibbons P, Fischer J, Cunningham S A. Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: maintaining mosaics of natural features and production. Biological Conservation, 2012, 149(1): 84-92.

[28] Mazón M, Bordera S. Diversity of Ichneumonidae (Insecta: Hymenoptera) in a protected area of Central Spain: what are we protecting? Insect Conservation and Diversity, 2014, 7(5): 432-452.

[29] Jönsson A M, Ekroos J, Dänhardt J, Andersson G K S, Olsson O, Smith H G. Sown flower strips in southern Sweden increase abundances of wild bees and hoverflies in the wider landscape. Biological Conservation, 2015, 184: 51-58.

[30] 王润, 丁圣彦, 卢训令, 宋博. 黄河中下游农业景观异质性对传粉昆虫多样性的多尺度效应——以巩义市为例. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2145-2153.

[31] Wu Y, Liu Y R, Peng H, Yang Y, Liu G L, Cao G X, Zhang Q. Pollination ecology of alpine herb *Meconopsis integrifolia* at different altitudes. Chinese Journal of Plant Ecology, 2015, 39(1): 1-13.

[32] Ye X Q, Meng J L, Zhao Z G, Fan B L, Du G Z. Optimal pollinator attraction strategies in *Trollius ranunculoides* hemsl. (Ranunculaceae) at different altitudes: increased floral display or promotion of nectar output? Plant Biology, 2011, 13(3): 551-555.

[33] Stokes C J, Yeaton R I. Population dynamics, pollination ecology and the significance of plant height in *Aloe candelabrum*. African Journal of Ecology, 1995, 33(2): 101-113.

[34] Richardson M L, Keathley C P, Peterson C L. Breeding system of the critically endangered Lakela's Mint and influence of plant height on

pollinators and seed output. Population Ecology, 2016, 58(2): 277-284.

[35] 牟晓蕾, 孙茂. 昆虫翅平面形状和展弦比对其气动性能的影响. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(11): 1359-1364.

[36] Thompson R A, Wehling M F, Evers J H, Dixon W E. Body rate decoupling using haltere mid-stroke measurements for inertial flight stabilization in Diptera. Journal of Comparative Physiology A, 2009, 195(1): 99-112.

[37] Taylor L R. Mortality and viability of insect migrants high in the air. Nature, 1960, 186(4722): 410-410.

[38] Compton S G, Ellwood M D F, Davis A J, Welch K. The flight heights of chalcid wasps (Hymenoptera, Chalcidoidea) in a lowland Bornean rain forest: fig wasps are the high fliers. Biotropica, 2000, 32(3): 515-522.

[39] 陈世骧. 中国动物志: 昆虫纲 鞘翅目 铁甲科. 北京: 科学出版社, 1986.

[40] Liu Y F, Yu H L, Wu J X. Phototaxis of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) to LED lights and related affecting factors. Chinese Journal of Applied Entomology, 2013, 50(3): 735-741.

[41] Luo C W, Chen Y. Phototactic behavior of *Scleroderma guani* (Hymenoptera: Bethylidae) - Parasitoid of *Pissodes punctatus* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Insect Behavior, 2016: 29(6): 605-614.

[42] Jiang Y L, Tong L, Gong Z J, Duan Y, Miao J, Wu Y Q. Phototaxis of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) adults to linearly polarized light. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(7): 797-800.

[43] Pacheco Y M, Martin G J, Bybee S M. On the phototactic response of rwandan *Diaphanes Motschulsky* (Coleoptera: Lampyridae) to a trap with a 630nm red light. The Coleopterists Bulletin, 2016, 70(3): 559-561.

[44] Terry L I, Roemer R B, Walter G H, Booth D. Thrips′ responses to thermogenic associated signals in a cycad pollination system: the interplay of temperature, light, humidity and cone volatiles. Functional Ecology, 2014, 28(4): 857-867.

[45] Selak G V, Cuevas J, Goreta Ban S, Pinillos V, Dumicic G, Perica S. The effect of temperature on the duration of the effective pollination period in ‘Oblica’ olive (*Olea europaea*) cultivar. Annals of Applied Biology, 2014, 164(1): 85-94.

[46] Balilashaki K, Gantait S, Naderi R, Vahedi M. Capsule formation and asymbiotic seed germination in some hybrids of *Phalaenopsis*, influenced by pollination season and capsule maturity. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2015, 21(3): 341-347.

